

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-324913

(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01L 21/205
H01S 5/323

(21)Application number : 2001-127209

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 25.04.2001

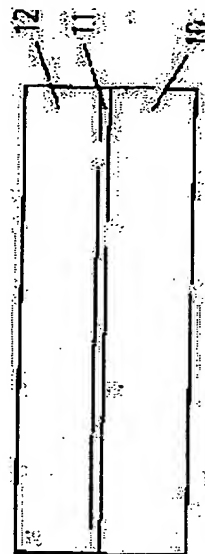
(72)Inventor : IWATA HIROKAZU
SARAYAMA SHOJI
MIKI TAKESHI

(54) III NITRIDE SEMICONDUCTOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a III nitride semiconductor which has higher carrier concentration and higher quality than the conventional one.

SOLUTION: On a sapphire substrate 10, a low-temperature GaN buffer layer 11 and a p-type $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) layer 12 as the III nitride semiconductor are stacked in this order. The p-type $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) layer 12 is, for example, a p-type $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ layer where $x=0.08$. The p-type $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ layer 12 includes Mg(magnesium) which is a p-type impurity and B(boron), each in a quantity of about $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Best Available Copy

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-324913

(P2002-324913A)

(43) 公開日 平成14年11月8日 (2002.11.8)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	チート・V (参考)
H01L 33/00	21/205	H01L 33/00	C 5P041
H01S 5/323	610	21/205	5P045
		H01S 5/323	610 5P073

審査請求 未請求	請求項の範囲13 OL (全 25 頁)
(21) 出願番号 特開2001-127208 (P2001-127209)	(71) 出願人 000005747
(22) 出願日 平成13年4月25日 (2001.4.25)	株式会社ユニコー
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号
	(72) 発明者 岩田 浩和
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社ユニコー
	(72) 発明者 西山 正二
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社ユニコー
	(74) 代理人 100090240
	弁護士 楠本 雅治

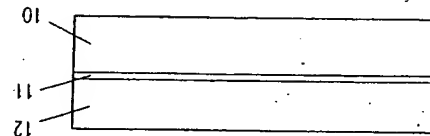
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法

(57) 【要約】

【課題】 従来よりもキャリア濃度が高くかつ高品質のIII族窒化物半導体を提供する。

【解決手段】 サファイア基板10上には、低温GaNパッド層11、III族窒化物半導体としてのp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) 層12が順次に積層されている。ここで、p型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) 層12は、例えばx = 0.08のp型Al_{0.08}Ga_{0.92}N層12にN層である。そして、p型Al_{0.08}Ga_{0.92}N層12には、p型不純物のMg (マグネシウム) と同時にB (ボロン) が含まれている。ここで、MgとBは、ともに8 × 10¹⁹ cm⁻³程度含まれている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 Mgが添加されたp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) において、前記p型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) には、Mgと同時にBが添加されていることを特徴とするIII族窒化物半導体。

【請求項2】 請求項1記載のIII族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項3】 請求項2記載の半導体装置において、p側オーミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記載のIII族窒化物半導体を用いることを特徴とする半導体装置。

【請求項4】 請求項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置は半導体発光素子であることを特徴とする半導体装置。

【請求項5】 請求項4記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体レーザ素子であることを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は、発光波長が400 nm以下であることを特徴とする半導体装置。

【請求項7】 請求項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半導体レーザ素子は、請求項1記載のIII族窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を有していることを特徴とする半導体装置。

【請求項8】 Mgと同時にBが添加されているp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。

【請求項9】 請求項8記載のIII族窒化物半導体の作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はN₂であることを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。

【請求項10】 Mgと同時にBが添加されているp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、N₂の冷却雰囲気で行うことを特徴とするIII族窒化物半導体の作製方法。

【請求項11】 Mgと同時にBが添加されているp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、窒素原料を含む雰囲気で行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項12】 請求項11記載の半導体装置の作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はN₂であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項13】 Mgと同時にBが添加されているp型Al_{1-x}Ga_x(N) (0 ≤ x ≤ 1) を含む半導体積層構造

を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、N₂の冷却雰囲気で行なうことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、DVDやCD等の光ピックアップ用光源、電子写真用の青を込み光源、光通信用光源、紫外線センサー、高圧動作トランジスタ等に利用されるIII族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、青色のLEDは青色や緑色のLEDに比べて輝度が小さく実用性に欠けがあったが、近年、一般式InAlGa_Nで表されるIII族窒化物半導体において、低温AlNバッファ層あるいは低温Ga_Nバッファ層を用いた結晶成長技術の向上と、水素パシベーションによって高抵抗化したp型層を熱処理によって低抵抗化する技術が見出され、高輝度の青色LEDが実用化された。

【0003】 その後、更なる結晶性の向上と、p型Ga_Nの低抵抗化の研究が進み、種々の要素がなされ、低出力 (数mW) ではあるが、窒素近傍で連続発振する青色半導体レーザが実用化された。

【0004】 以上のように、III族窒化物半導体装置の開発を行う上で、p型III族窒化物の作製技術は重要な基本技術となっている。

【0005】 p型III族窒化物は、p型不純物と水素が結合し、p型不純物を不活性化してしまつたため、水素を含む雰囲気での結晶成長や、水素ガス中や水素を生成するガス中で熱処理を行った場合には高抵抗化する。従つて、水素をキャリアガスとして使用するMOCVD等の方法では、p型III族窒化物をas-grown (熱処理等の特別な後処理を行わない結晶成長したままの状態) で作製することは困難であった。

【0006】 p型III族窒化物を作製するための方法としては、高抵抗化したIII族窒化物に特別な処理を行なつてp型化する第1の作製方法と、結晶成長の工程を工夫することによってp型III族窒化物を作製する第2の作製方法とに大別される。

【0007】 上記第1の作製方法において、p型化のための特別な処理に関しては、特開5-183189号 (以下、従来技術1という) には、水素や水素を生成する水素化物のガス (NH₃等) を含まない雰囲気ガス中で、熱処理を行い、結晶中に含まれる水素の一部を結晶外へ拡散排し、低抵抗のp型にする方法が提案されている。

【0008】 あるいは、特開3-218625号 (以下、従来技術2という) には、低エネルギーの電子線を照射し、結晶中に含まれる水素とp型不純物の結合を切つて低抵抗のp型にする方法が提案されている。

【0009】また、上記第2の作製方法において、結晶成長の工程を工夫する仕方で、特開平8-125222号（以下、従来技術3という）には、結晶成長終了後の冷却過程を、窒素や不活性ガス等の水素を含まないガス雰囲気中で行うことで、低抵抗のp型にすることが開示されている。

【0010】また、結晶成長を水素ガスを含まない系で行う方法も知られている。これは窒素をキャリアガスに使用したMOCVD法や、水素を含まない原料を使用するMBE法である。これらの方法では、as-grow n（結晶成長したのみで、p型化の特別な処理をしていない状態）でp型Ga Nが得られることが知られている。

【0011】また、別の方法として、特開平6-232451号（以下、従来技術4という）には、 $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$ で表されるIII族窒化物層を成長させた後に、 Mg を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングしてp型III族窒化物半導体を作製する方法が開示されている。

【0012】この方法は、 $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$ 層を緩衝層として用いることによって、その上に成長するp型Ga N層の歪みを緩和して結晶性の悪化を防ぐことで、as-grow nでp型Ga Nを作製するものである。この方法によれば、Ga Nに Mg を $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドーピングして、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度のp型Ga Nを作製している。

【0013】現在、以上のような方法で、p型III族窒化物半導体は作製されている。

【0014】高い電流密度を必要とする発光素子等に使用されるp型III族窒化物半導体には高いキャリア濃度が要求されるが、バンドギャップの広いIII族窒化物半導体は、前述したような方法でp型化してもキャリア濃度は低い。例えば、半導体レーザのクラッド層に使用されるAlGa Nでは、キャリア濃度が 10^{17} cm^{-3} を超えるものを作製することは容易ではない。

【0015】これを解決する方法として、特開平10-101496号（以下、従来技術5という）には、 Mg とSiを2:1、あるいは Mg とOを2:1、あるいは Be とSiを2:1、あるいは Be とOを2:1の比率でGa Nに $10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度同時にドーピングして、高キャリア濃度のp型Ga Nを作製する方法が開示されている。

【0016】また、Ga N/AlGa Nの超格子構造により実効的なキャリア濃度を高める方法が提案されており、それをクラッド層に適用した半導体レーザが作製されている。

【0017】図19は特開平11-4048号（以下、従来技術6という）に示されている半導体レーザを示す図である。図19を参照すると、この半導体レーザは、

サブファイバ基板上に選択成長とラテラル成長を組み合わせて成長したGa N層をサブファイバ基板から分離して作製されたGa N基板160の上に、n型Ga Nよりなる第2のバッファ層161、n型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラッド防止層162、n型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子よりなる側クラッド層163、n型Ga Nよりなる側光ガイド層164、 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ / $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 多重量子井構造の活性層165、p型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層166、p型Ga Nからなる側光ガイド層167、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子よりなる側クラッド層168、p型Ga Nからなるp側コンタクト層169が順次に積層されて積層構造として形成されている。

【0018】そして、p側コンタクト層169、p側クラッド層168の一部をドライエッチングして、幅4 μm のリッジストラップを形成している。リッジストラップ上にはp側電極170が形成され、n型Ga N基板160の裏面には、n側電極171が形成されている。レーザ共振器端面はn型Ga N基板160の裏面へ向けて形成されている。

【0019】ここで、p側クラッド層168は、キャリア濃度の高いGa Nと $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ との超格子構造をとることによって、実効的なキャリア濃度を増加させている。

【0020】【発明が解決しようとする課題】前述したように、低抵抗のp型III族窒化物半導体を作製することは難しいが、III族窒化物半導体を使用した、高輝度青色発光ダイオード、低出力（数mW）の青色半導体レーザしか実用化されておらず、その後の精力的な研究開発にもかかわらず、高出力動作する実用的な青色レーザや、400 nmより短い紫外領域で発光する発光ダイオードや半導体レーザ、あるいは紫外領域で発光する青色半導体レーザ、あるいは紫外領域で発光する青色半導体レーザの受光素子は実用化されていない。

【0021】例えば、半導体レーザの場合には、まだp型クラッド層の低抵抗やp側オーミック電極の低抵抗が高いために、動作電圧の増加や、大電流動作時の発熱を招き、高出力動作するものが実用化されていない。また、紫外領域で使用する発光素子あるいは受光素子の場合は、p型AlGa N層のAl組成比が大きくなるに従い、高抵抗化するため、紫外領域で発光する受光素子は実用化されていない。

【0022】また、実用化された低出力の青色半導体レーザも製造コストが高いものとなっている。

【0023】以下、従来技術の課題点を説明する。
【0024】従来技術1のIII族窒化物半導体のp型化法は、p型不純物を不活性化している水素を含まない結晶外部へ抽出させる方法のため、水素を含まない雰囲気、一般的には窒素ガス雰囲気中で熱処理が行われ、しかしながら、この雰囲気においては、窒素分子が

らなる窒素ガスはIII族窒化物の生成原料にはならないために、700℃を超える高温では結晶表面の分解が起る、表面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場合があった。これは、結晶表面に電極を形成する場合には、オーミック接触抵抗が大きくなる等の不具合が生じることがある。また、p型化の熱処理工程を必要とすることから、製造工程の増加と熱処理設備が必要となり、工業的にコストがかかるとなる。

【0025】また、従来技術3は、熱処理工程を必要としないので、コスト的には低くできるが、1000℃程度の結晶成長温度から室温までの降温を窒素ガスや不活性ガスでの雰囲気で行うので、従来技術1と同様に、結晶表面の分解が起る、表面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場合があった。

【0026】また、従来技術2の低エネルギー電子線照射法は、電子線の侵入深さが浅く、結晶表面近傍しかp型化できないことと、電子線を一度に照射できる面積が狭いため、ウェハ全面をp型化するには時間がかかり、工業的にコストがかかりすぎる。

【0027】また、従来技術4の方法、すなわち、 $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{N}$ 、 $(0 < x < 1, 0 \leq y < 1)$ で作製されるIII族窒化物層を成長させた後に Mg を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングしてp型Ga Nを作製する方法では、直上の結晶層の歪みが緩和され、p型特性を示すが、多層構造を形成する場合に、層厚が厚くなるに従い、その効果が薄れてしまう。そのため、デバイス設計の自由度が少いという問題がある。さらに、AlGa Nの場合には、as-grow nでは高キャリア濃度のものは得られにくく、熱処理等の後処理が必要である。

【0028】水素を含まない雰囲気での結晶成長方法に関しては、まず、MBE法では、高真空中で結晶成長を行うため窒素の解離による欠陥が形成される等、高品質な結晶成長が行いにくい。また、窒素の供給に課題があり、成長速度が遅く、MOCVD法ほどには量産には向いていない。

【0029】一方、MBE法と同様に水素を極力含まない雰囲気中でMOCVD法により結晶成長を行った場合、本願の発明者によるGa Nの実験では、表面の凹凸が激しいものが成長できず、結晶性の良いものは成長できなかった。すなわち、水素を含まない雰囲気では高品質のp型Ga Nを成長できる条件が狭いと考えられる。

【0030】また、従来技術5の方法、すなわち、 Mg とSiを2:1、あるいは Mg とOを2:1、あるいは Be とSiを2:1、あるいは Be とOを2:1の比率でGa Nに $10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度同時にドーピングして、高キャリア濃度のp型Ga Nを作製する方法では、ドーピング量を増やすに従い、表面モフォロジーが悪くなるため、半導体レーザのような平坦な導波路構造を必要とするデバイスを作製するには難があっ

た。
【0031】また、従来技術6の半導体レーザでは、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子を使用している型クラッド層のキャリア濃度を実効的に増加させているが、超格子構造を作製するための結晶成長プロセスと装置が必要となることから、結晶成長に要する時間と装置コストがかかり、半導体レーザが高価なものとなる。

【0032】また、p型Ga Nのキャリア濃度が 10^{18} cm^{-3} 以下と十分高くないので、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ /Ga N超格子の実効キャリア濃度も高出力半導体レーザに実用化するには十分とはいえず、キャリア濃度の高いp型AlGa Nが必要とされる。

【0033】本発明は、上述した従来技術の問題点を解決することを目的としている。すなわち、従来よりもキャリア濃度が高くかつ高品質のIII族窒化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法を提供することを目的としている。

【0034】【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の発明は、 Mg が添加されたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$ において、前記 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$ には、 Mg と同時にBが添加されていることを特徴としている。

【0035】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載のIII族窒化物半導体を含む半導体積層構造を有していることを特徴としている。

【0036】また、請求項3記載の発明は、請求項2記載の半導体装置において、p側オーミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記載のIII族窒化物半導体を用いることを特徴としている。

【0037】また、請求項4記載の発明は、請求項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置は半導体発光素子であることを特徴としている。

【0038】また、請求項5記載の発明は、請求項4記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体レーザ素子であることを特徴としている。

【0039】また、請求項6記載の発明は、請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は、発光波長が400 nm以下であることを特徴としている。

【0040】また、請求項7記載の発明は、請求項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半導体レーザ素子は、請求項1記載のIII族窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を有していることを特徴としている。

【0041】また、請求項8記載の発明は、 Mg と同時にBが添加されているp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 、 $(0 \leq x \leq 1)$ を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長後の結晶成長温度からの冷却、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴としている。

成長して作型した。
[0108] この作製工程例では、まず、サファイア基板20に成膜装置にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板20の表面をクリーニングした。
[0109] 次に、温度を520℃に下げ、成長雰囲気中、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、TMAを流し、低圧AlNパッパ層21を堆積した。
[0110] 次に、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を組成にあわせて供給し、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層22を3μmの厚さに、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分

割した。
[0111] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に下げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0112] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0113] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0114] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0115] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0116] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0117] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0118] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0119] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0120] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0121] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0122] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0123] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0124] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0125] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0126] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0127] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0128] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

層50の形成工程は次の通りである。まず、n型Ga_{0.97}Nコンタクト層42上部のSiO₂膜47上に、レジストをメサを囲む形状のスキパターンを形成した後、SiO₂膜47をエッチングしてn型Ga_{0.97}Nコンタクト層42を露出させる。次に、レジストを除去し、再度レジストを形成する。次に、n側オーミック電極と配線電極材料であるTi/Alを蒸着した。その後、ウェハーを酸液中に浸し、レジストを溶かし、レジスト上に蒸着された電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極49と配線電極50のバターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極49を形成した。

[0135] また、図5は本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図であり、図5の例では、半導体装置は半導体レーザーとして構成されている。なお、図5は半導体レーザーの光出力方向に垂直な面での断面図である。
[0136] 図5を参照すると、この半導体レーザーは、サファイア基板60上に、Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層61、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層63、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層64、In_{0.15}Ga_{0.85}N/In_{0.03}Ga_{0.97}N多量子井戸構造層(2ペリ)65、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層66、p型Ga_{0.97}Nガイド層67、p型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層68、p型Ga_{0.97}Nコンタクト層69が順次に積層されて形成されている。

[0137] ここで、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層66、p型Ga_{0.97}Nガイド層67、p型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層68、p型Ga_{0.97}Nコンタクト層69には、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロン)がドーピングされている。
[0138] また、上記積層構造は、p型Ga_{0.97}Nコンタクト層69の表面からn型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62までエッチングされ、n型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62の表面が露出している。露出したn型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nコンタクト層62上には、Ti/Alからなるn側オーミック電極72が形成されている。
[0139] また、p型Ga_{0.97}Nコンタクト層69の表面からp型Al_{0.03}Ga_{0.97}Nクラッド層68の途中までエッチングされ、電流集積層73が形成され、p型Ga_{0.97}Nコンタクト層69上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極71が形成されている。

[0140] また、電極形成部以外には、絶縁保護膜70としてSiO₂が堆積されている。そして、絶縁保護膜70上にはp側電極から引き出された配線電極73が形成されている。
[0141] そして、積層構造と電流集積層73構造とを垂直に光共振器端面が形成されている。

[0125] 次に、図4のフォトリソグラフィの作製工程例を説明する。まず、サファイア基板40を反応室にセットし、水素ガス中、1120℃で加熱し、基板40の表面をクリーニングした。
[0126] 次に、温度を520℃に下げ、雰囲気中、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、TMGを流し、低圧AlNパッパ層41を堆積した。
[0127] 次に、温度を1050℃に上げ、TMGとSiH₄を供給し、n型Ga_{0.97}Nコンタクト層42を2μmの厚さに、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0128] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0129] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0130] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0131] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0132] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0133] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0134] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0135] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0136] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0137] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0138] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0139] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

[0140] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。
[0141] 次に、雰囲気中、水素と酸素の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素をキャリアガスとしてTMG、TMA、SiH₄を供給し、低圧水素と酸素の混合ガス雰囲気中、450℃で、ダイシングを行い、集積型受光素子をチップに分割した。

には、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B（ボロン）がドーピングされている。

[0177] また、このフォトダイオードは、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103からn型Ga_{0.99}N基板100が露出するまでエッチングして形成された直径150μmのメサ構造をなしている。

[0178] そして、メサ構造とエッチングによって露出されたn型Ga_{0.99}N基板100上には、SiO₂絶縁膜104が形成されている。

[0179] メサ構造の上部のSiO₂絶縁膜104は、その外周がリング状にエッチングされ、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103の表面が露出している。露出したp型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103の表面には、リング状のp側オーミック電極105が形成されている。また、メサ構造の側面とエッチングによって露出したn型Ga_{0.99}N基板100上のSiO₂絶縁膜104上には、p側オーミック電極105から引き出された配線電極107が形成されている。

[0180] また、n型Ga_{0.99}N基板100の表面にはn側オーミック電極106が形成されている。

[0181] 図9のフォトダイオードでは、メサ構造上のリング状のp側オーミック電極105と露出された部分が受光面500となる。このフォトダイオードに逆バイアスを印加し、受光面500に光を照射すると、光の強度に対応した光電流が流れる。図9のフォトダイオードは、346nmよりも短い波長での光センサーとして機能する。

[0182] 図9のフォトダイオードは、as-grownでp型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103が作製されているので、p型化のための熱処理を必要としない。そのため、結晶表面の分解がほとんどないの、結晶欠陥が発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなっている。

[0183] 次に、図9のフォトダイオードの作製方法を説明する。まず、n型Ga_{0.99}N基板100を反応管にセットし、水素とアンモニアガスの混合ガス中、120℃に加熱し、基板100の表面をクリーニングした。

[0184] 次に、温度を600℃に下げ、NH₃と窒素と水素の混合ガス雰囲気、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH₄ガスを流し、低温型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nバッファ層101を約50nmの厚さに堆積し、次に、温度を1070℃に上げ、TMGとTMAとSiH₄を供給し、n型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層102を1μmの厚さに堆積した。

[0185] 次に、SiH₄の供給を止め、(EtCp)2MgとBH₃を供給し、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103を0.5μmの厚さに堆積した。

[0186] 次に、TMG、(EtCp)2Mg、B₂H₆の供給を停止し、反応管内に窒素とアンモニアと水

素ガス（全体の6%）の混合ガス雰囲気にして室温まで冷却し、反応管から基板を取り出した。

[0187] 次に、レジストで直径150μmの円パターンを形成した。このレジストパターンをマスクとし、ドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ状を形成するとともに、n型Ga_{0.99}N基板100を露出させた。

[0188] レジストマスクを除去した後、ウェハーをプラズマCVD装置にセットし、表面にSiO₂膜104を約0.5μmの厚さに堆積した。

[0189] 次に、p側オーミック電極105を形成した。p側オーミック電極105の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリング状のマスクパターンを形成した後、SiO₂膜104をリング状にウエットエッチングで除去し、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103を露出させる。次に、p側オーミック電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウェハーを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフして、メサ上部にp側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層103にp側オーミック電極105を形成した。

[0190] 次に、配線電極107を形成した。配線電極107の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、レジストで、配線電極107のリフトオフパターンを形成し、次に、配線電極材料であるTi/Auを蒸着した。その後、ウェハーを有機溶剤中に浸し、レジストを溶かしレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフし、配線電極107を形成した。

[0191] 次に、n型電極106を基板100の裏面に形成した。すなわち、基板100の裏面にTi/Auを蒸着し、その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理し、n側オーミック電極106を形成した。

[0192] 最後に、ダイシングを行い、フォトダイオードをチップ分離した。

[0193] また、図11、図12は前述した第2の作製方法で作製された半導体装置の一例を説明するための図である。なお、図11、図12の例では、半導体装置は端面発光型発光ダイオードであり、図11は端面発光型発光ダイオードの光出力端面に垂直な断面図、図12は端面発光型発光ダイオードとなる積層構造の断面図である。

[0194] 図11、図12を参照すると、発光ダイオードは概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの側面が光出力端面となっている。

[0195] また、発光ダイオードの積層構造は、n型Ga_{0.99}N層110上に、n型Al_{0.97}Ga_{0.03}N低阻バッファ層111、n型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層112、Al_{0.97}Ga_{0.03}N法性層113、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層114、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層

115が順次に積層され形成されている。

[0196] ここで、形成Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層114、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層115には、p型不純物であるMgと同時にBが添加されている。

[0197] また、発光ダイオードのp型Ga_{0.99}Nコンタクト層115上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極116が形成されている。

[0198] また、基板110の裏面には、Ti/Auからなるn側オーミック電極117が形成されている。

[0199] そして、この発光ダイオードの側面は基板110に対して垂直に形成されている。

[0200] この発光ダイオードは、p側、n側オーミック電極116、117に電流のバイアスをかけると、発光ダイオードの一面である光出力端面700から光が外部に放射される。この発光ダイオードの発光のピーク波長は、約350nmであった。

[0201] 次に、図11の発光ダイオードの作製方法を説明する。なお、発光ダイオードの積層構造はMOCVD法で結晶成長して作製した。まず、n型Ga_{0.99}N層110を反応管にセットし、アンモニアガス中、1120℃で加熱し、基板110の表面をクリーニングした。

[0202] 次に、温度を600℃に下げ、窒素を、NH₃と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMAとTMGおよびn型ドーパントガスであるSiH₄ガスを流し、n型低阻Al_{0.97}Ga_{0.03}Nバッファ層111を堆積した。

[0203] 次に、温度を1070℃に上げ、TMG、TMAおよびn型不純物ガスとしてSiH₄を混合し、配線電極107を形成した。

[0204] 次に、n型不純物原料の代わりに、p型不純物原料である(EtCp)2Mgとそれと同時にB₂H₆を混合にあわせて供給し、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}Nクラッド層114を0.3μmの厚さに堆積した。

[0205] 結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガスに置き換え、温度を1000℃で加熱して、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層115を0.3μmの厚さに堆積した。

[0206] 冷却後、積層構造表面にチタニウムを蒸着し、p側オーミック電極116を形成した。

[0207] 次に、p側オーミック電極材料であるNi/Auを積層構造上に蒸着した。その後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層115にp側オーミック電極116を形成した。

[0208] 次に、図13、図14の半導体レーザーの作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造は1000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n型Ga_{0.99}N層120を反応管にセットし、水素と窒素とアンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、基板120の表面をクリーニングした。

[0209] 次に、基板をへき開し、出射端面700の形成とチップ分離を行った。

[0210] また、図13、図14は前述した第2の作製方法で作製された半導体装置の他の例を説明するための図である。なお、図13、図14は、図15の例では、半導体装置は半導体レーザーであり、図13は半導体レーザーの斜視図、図14は半導体レーザーの光出力端面に垂直な断面図、図15は半導体レーザーの側面図である。

[0211] 図13乃至図15を参照すると、半導体レーザーの積層構造は1000は、n型Ga_{0.99}N層120上に、n型Al_{0.97}Ga_{0.03}N低阻バッファ層121、n型Al_{0.98}Ga_{0.02}N高阻バッファ層122、n型Al_{0.99}Ga_{0.01}Nクラッド層123、n型Ga_{0.99}Nコンタクト層124、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層125、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層126、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層127、p型Al_{0.97}Ga_{0.03}N層128、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層129に、p型不純物であるMgと同時にBがドーピングされている。

[0212] そして、p型Al_{0.98}Ga_{0.02}N層126、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層127、p型Al_{0.97}Ga_{0.03}N層128、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層129に、p型不純物であるMgと同時にBがドーピングされている。

[0213] 積層構造1000は、p型Ga_{0.99}Nコンタクト層129の表面からp型Al_{0.97}Ga_{0.03}Nクラッド層128の途中までエッチングされ、電流電極リッジ構造800が形成されている。

[0214] そして、リッジ構造800の表面のp型Ga_{0.99}Nコンタクト層129上には、Ni/Auからなるp側オーミック電極131が形成されている。また、p側電極形成部以外には、絶縁保護膜130として、SiO₂が堆積されている。

[0215] そして、積層構造1000と電流電極リッジ構造800と概ね垂直に光共振器端面801、802が形成されている。

[0216] また、Ga_{0.99}N層120の表面には、Ti/Auからなるn側オーミック電極132が形成されている。

[0217] この半導体レーザーの電極131、132に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させるとレーザー発振した。発振波長は約409nmであった。

[0218] 次に、図13、図14の半導体レーザーの作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造は1000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n型Ga_{0.99}N層120を反応管にセットし、水素と窒素とアンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、基板120の表面をクリーニングした。

窒素雰囲気中で450℃で熱処理し、n側オーミック電極132を形成した。

[0230] また、図16、図17、図18は前述した第2の作成方法で作製された半導体基板17の一例を説明するたものである。なお、図16、図17、図18の例では、半導体基板光素子サザーナー17と、図16は半導体レーザの結晶面、図17は半導体レーザの光出力方向に垂直な面の断面図、図18は半導体レーザに対する覆層構造の成長後の状態を説明するための図である。

0.03 Gao. 07 N 高坂バツファーム層 142、n 型 A10.15 Gao. 05 N クラッド層 143、n 型 A10.1C Gao. 03 N クラッド層 144、GaN/Al_{0.1}Gao. 0 N 多量子井戸活性層 145、p 型 A10.2 Gao. 0 N 層 146、p 型 A10.1C Gao. 05 N バイナリ層 147、p 型 A10.15 Gao. 05 N クラッド層 148、p 型 GaN ニンタクト層 149 が順次に形成されて形成されている。

【0233】積層構造2000は、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層149の表面からp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層148の途中までエッチングされ、電流収束リッジ構造900が形成されている。

【0235】そして、特開特選2000と電力技術リッ
グ構造900と概ね垂直に光共振器端面901, 902
が形成されている。

【0236】また、GaN基板140の裏面には、Ti
/Alからなるn側オーミック電極152が形成されて
いる。

【0238】次に、図16、図17の半導体レーザの作製方法を説明する。なお、半導体レーザの積層構造2000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n

ウェハをリッジ900に傾ね垂直になるようにへき開し、光共振器端面901、902を形成した。

[0249]

【02501】また、請求項2記載の発明によれば、請求項1記載のIII族化合物半導体及び半導体積層構造を有している従来III族化合物半導体積層構造からなる半導体装置の底抵抗の増大の原因となったp型A₁Ga_{1-x}In_xN (0 ≤ x ≤ 1) のキャリア濃度が高く低い底抵抗であることにより、動作電圧が低く、発熱ににくい等、半導体装置の特性が向上し信頼性を高めることができる。

【0252】また、請求項3記載の発明によれば、請求項2記載の半導体装置において、p側オームミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記載のIII族窒化物半

【0253】また、請求項4記載の発明によれば、請求項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置は半導体発光素子であり、高いキャリア濃度のp

【0254】また、請求項5記載の発明によれば、請求項4記載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体レーザ素子であり、高いキャリア濃度のp型A

が得られる。

[0255] また、従来のIII族置換化物半導体レーザーは、p型AlGaInクラッド層のキャリア濃度が低いので、電子が活性層からp型クラッド層にオーバーフローし、発光効率の低下を招いていたが、本発明の半導体レーザーは、高いキャリア濃度のp型AlGaIn層をクラッド層に使用することができ、発光効率が高い。

[0256] さらに、p型AlGaInはas-grownでp型特性を示すので、p型化のための特別な処理にかかる時間と費用とを要とされない。従って、従来のような動作電圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性で低コストの半導体レーザーを提供できる。

[0257] また、請求項6記載の発明によれば、請求項4または請求項5記載の半導体装置において、前記半導体光素子は、発光波長が400nm以下であり、p型AlGaInクラッド層にAlの混晶組成比が大きく、高いキャリア濃度のp型AlGaInを使用することができ、従来の発光波長であった400nm以下の波長域での高効率の発光が実現できる。

[0258] また、請求項7記載の発明によれば、請求項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半導体レーザ素子は、請求項1記載のIII族置換化物半導体クラッド層に用いた少なくとも一つのp-n接合を有しており、従来のIII族置換化物半導体レーザ素子よりもキャリア濃度の高いp型AlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)をp型クラッド層に使用しているの、動作電圧の低い、高出力、長寿命、高信頼性の半導体レーザ素子を提供できる。また、超結晶構造を作製する必要がなくなるので、結晶成長に要する時間と装置コストを低減することが可能となり、低コストの半導体レーザ素子を提供できる。

[0259] また、請求項8記載の発明によれば、Mgと同時にBが添加されているp型AlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うようになり、MgとBを同時に添加して高いキャリア濃度のAlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)の結晶成長と、窒素原料を含む雰囲気ガス中での冷却とを組み合わせたことで、従来のような請求項11記載の半導体装置を作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH₃であるので、請求項8の作用効果に加えて、NH₃の分解によって生成される水素によって、結晶表面に吸着している未反応の有機原料や、有機物の水素による表面低化の増加を防止でき、表面の汚染による表面低化の増加を防止でき、表面の汚染による表面低化の増加を防止できる。

[0261] また、請求項10記載の発明によれば、Mg

[0268] また、請求項13記載の発明によれば、Mgと同時にBが添加されているp型AlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、NH₃の冷却雰囲気で行うようになり、MgとBを同時に添加して高いキャリア濃度のAlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)の結晶成長と、窒素原料を含む雰囲気ガス中での冷却とを組み合わせたことで、従来のような請求項11記載の半導体装置を作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH₃であるので、請求項8の作用効果に加えて、NH₃の分解によって生成される水素によって、結晶表面に吸着している未反応の有機原料や、有機物の水素による表面低化の増加を防止でき、表面の汚染による表面低化の増加を防止できる。

[0269] また、請求項14記載の発明によれば、Mgと同時にBが添加されているp型AlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長速度からの冷却を、NH₃の冷却雰囲気で行うようになり、MgとBを同時に添加して高いキャリア濃度のAlGaIn(0.05 ≤ x ≤ 1)の結晶成長と、窒素原料を含む雰囲気ガス中での冷却とを組み合わせたことで、従来のような請求項11記載の半導体装置を作製方法において、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH₃であるので、請求項8の作用効果に加えて、NH₃の分解によって生成される水素によって、結晶表面に吸着している未反応の有機原料や、有機物の水素による表面低化の増加を防止でき、表面の汚染による表面低化の増加を防止できる。

[0270] また、請求項15記載の発明によれば、Mg

[0271] また、請求項16記載の発明によれば、Mg

[0272] また、請求項17記載の発明によれば、Mg

[0273] また、請求項18記載の発明によれば、Mg

[0274] また、請求項19記載の発明によれば、Mg

[0275] また、請求項20記載の発明によれば、Mg

[0276] また、請求項21記載の発明によれば、Mg

[0277] また、請求項22記載の発明によれば、Mg

[0278] また、請求項23記載の発明によれば、Mg

[0279] また、請求項24記載の発明によれば、Mg

[0280] また、請求項25記載の発明によれば、Mg

[0281] また、請求項26記載の発明によれば、Mg

[0282] また、請求項27記載の発明によれば、Mg

[0283] また、請求項28記載の発明によれば、Mg

[0284] また、請求項29記載の発明によれば、Mg

[0285] また、請求項30記載の発明によれば、Mg

[0286] また、請求項31記載の発明によれば、Mg

[0287] また、請求項32記載の発明によれば、Mg

[0288] また、請求項33記載の発明によれば、Mg

[0289] また、請求項34記載の発明によれば、Mg

[0290] また、請求項35記載の発明によれば、Mg

[0291] また、請求項36記載の発明によれば、Mg

[0292] また、請求項37記載の発明によれば、Mg

[0293] また、請求項38記載の発明によれば、Mg

[0294] また、請求項39記載の発明によれば、Mg

[0295] また、請求項40記載の発明によれば、Mg

[0296] また、請求項41記載の発明によれば、Mg

[0297] また、請求項42記載の発明によれば、Mg

[0298] また、請求項43記載の発明によれば、Mg

[0299] また、請求項44記載の発明によれば、Mg

[0300] また、請求項45記載の発明によれば、Mg

[0301] また、請求項46記載の発明によれば、Mg

[0302] また、請求項47記載の発明によれば、Mg

[0303] また、請求項48記載の発明によれば、Mg

[0304] また、請求項49記載の発明によれば、Mg

[0305] また、請求項50記載の発明によれば、Mg

[0306] また、請求項51記載の発明によれば、Mg

[0307] また、請求項52記載の発明によれば、Mg

[0308] また、請求項53記載の発明によれば、Mg

[0309] また、請求項54記載の発明によれば、Mg

[0310] また、請求項55記載の発明によれば、Mg

[0311] また、請求項56記載の発明によれば、Mg

[0312] また、請求項57記載の発明によれば、Mg

[0313] また、請求項58記載の発明によれば、Mg

[0314] また、請求項59記載の発明によれば、Mg

[0315] また、請求項60記載の発明によれば、Mg

35

バックアール

143 n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層

144 n型 Al0.1Ga0.9Nダイド

145 GaN/Al_{0.1}G_{0.9}N多量子井

戸活井園

146 产型ALC-G-2. N

146	p型A10.2G80.0N
147	p型A10.2G80.0N

147 p型 Al_{0.1}Ga_{0.9}Nカド層

148 p型A10.15Ga0.85Nクワット層

電流制御リッジ構造	400, 800, 900
n型Ga _N より成る第2のパツプアー	
16!	

Figure 1

162 n型In_{0.1}Ga_{0.9}Nクランク防止層

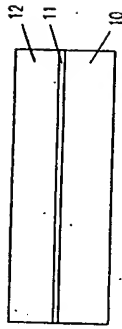
163 n. 21

復

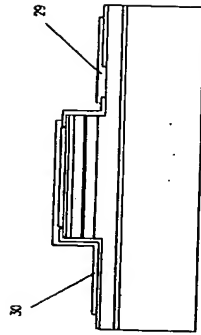
半導体レーザーの積層構造

造

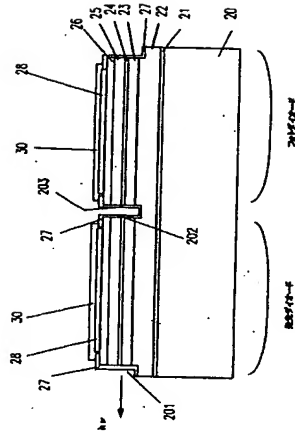
【图1】



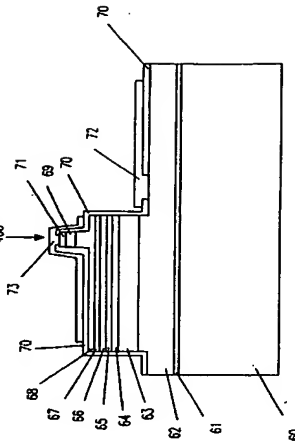
【例4】



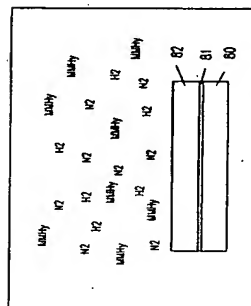
【图2】



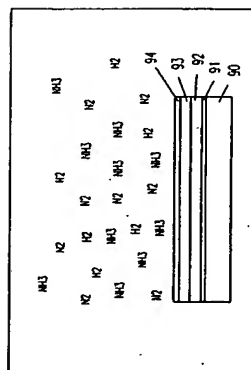
【5】



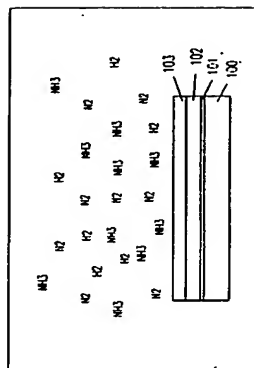
【图6】



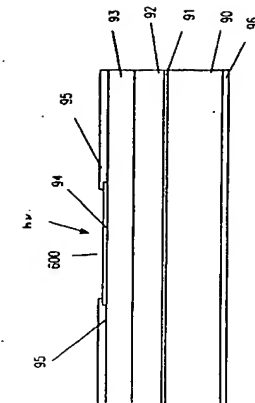
【8】



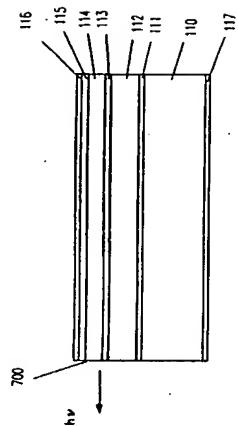
【圖10】



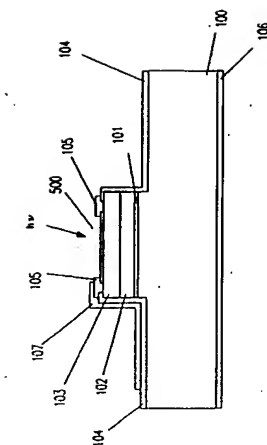
【例7】



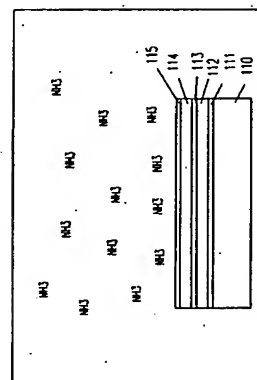
【圖 11】



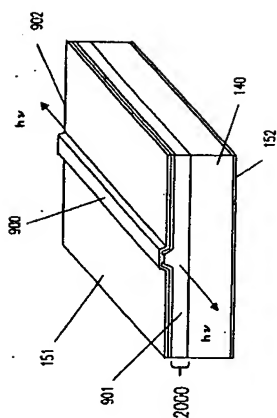
【6】



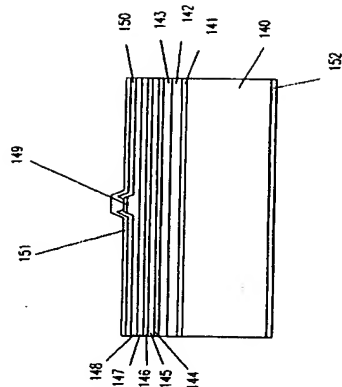
[1 2]



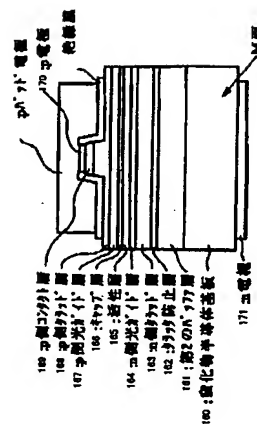
【図16】



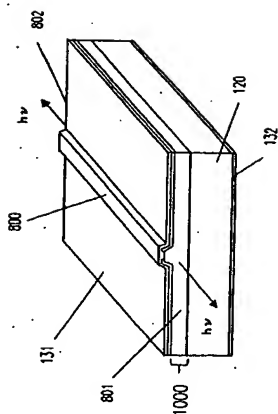
【図17】



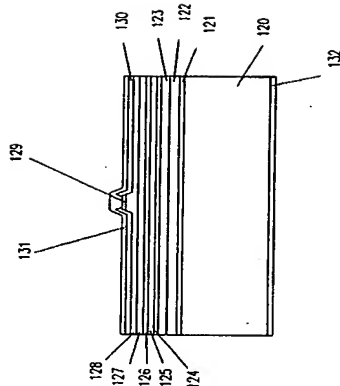
【図19】



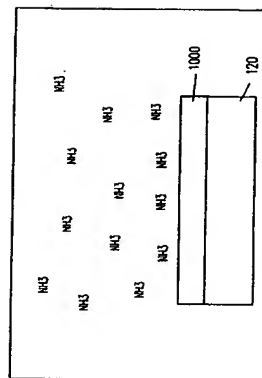
【図13】



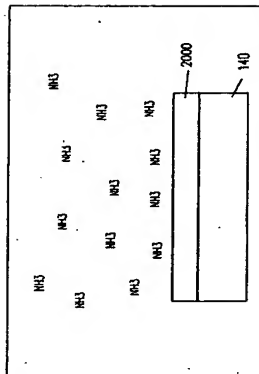
【図14】



【図15】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 三樹 剛
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

Fターム(参考) SF041 AA03 AA21 AA43 CA40 CA57
CA65 FF13 FF14
SF045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12
AD12 AD14 AF04 BB16 CA12
DA53 DA55
SF073 AA13 AA45 AA74 BA01 BA05
CA07 CB05 DA05 DA11 DA21
DA31 EA28

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)